

12. Modelisax-Treffen Leipzig, 10.02.2016

Parallele und verteilte Echtzeitsimulation unter Nutzung von Modelica –
Ein Anwendungsbeispiel

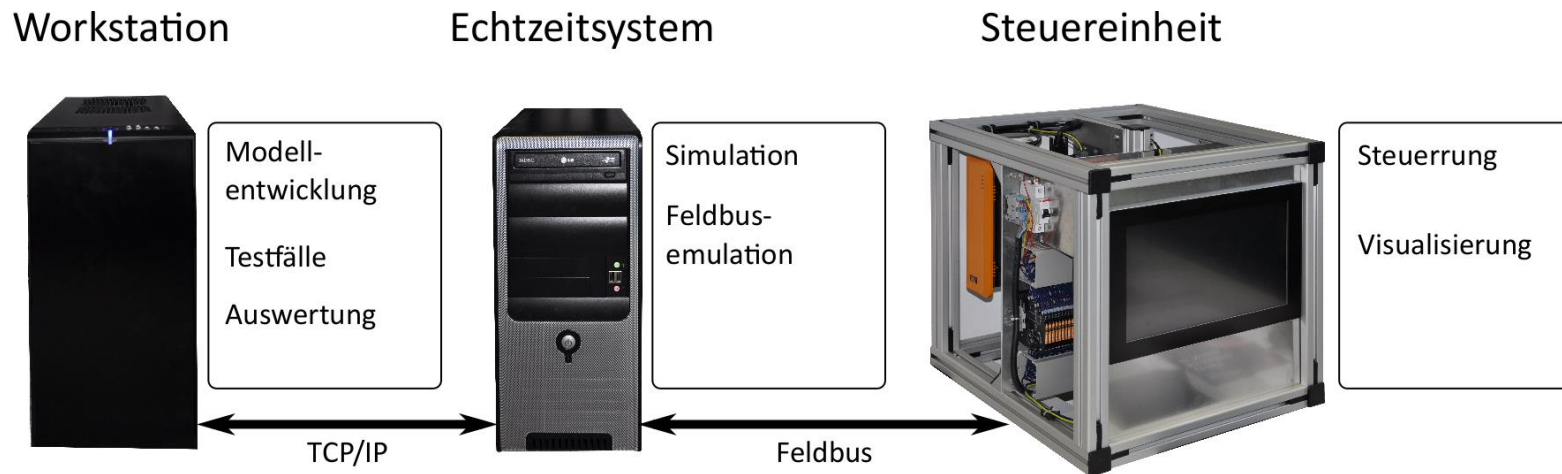
Fakultät
Elektrotechnik und Informationstechnik

Gliederung

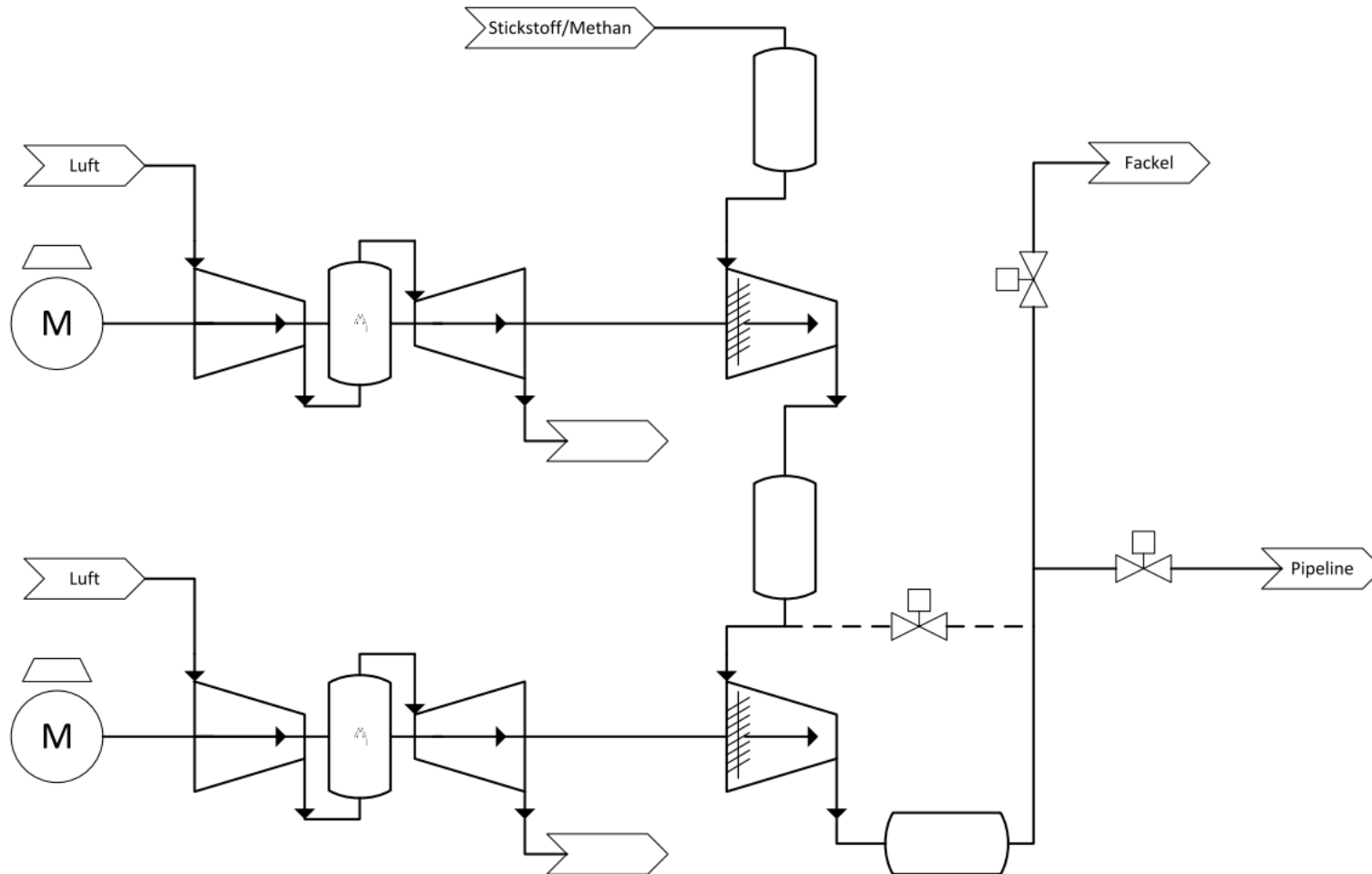
- Einleitung
- Modellierung
- Gekoppelte Simulation
- Praktische Fragen für die Ausführung auf dem Simulink Real-Time Target
- Ergebnisse
- Zusammenfassung / Ausblick

Einleitung - Motivation

- Echtzeitsimulation in der Prozessindustrie (speziell Strömungsmaschinen)
 - Hardware-in-the-Loop-Simulation
 - Condition-Monitoring
 - Operator Training System



Einleitung - Systembeschreibung Benchmark

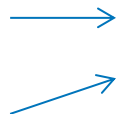


Einleitung – Randbedingungen

- Strukturell
 - Gleichungsbasierte Beschreibung (Modelica)
 - Fluid-Zustandsgleichung realer Gase und Gasgemische
 - „Echtes“ RTOS mit geringem Overhead
- Software
 - SimulationX 3.6.5
 - Matlab R2014a
 - Refprop 9.1



MODELICA



SIMULATION X[®]
Powered by ITI



Simulink → Simulink Real-Time

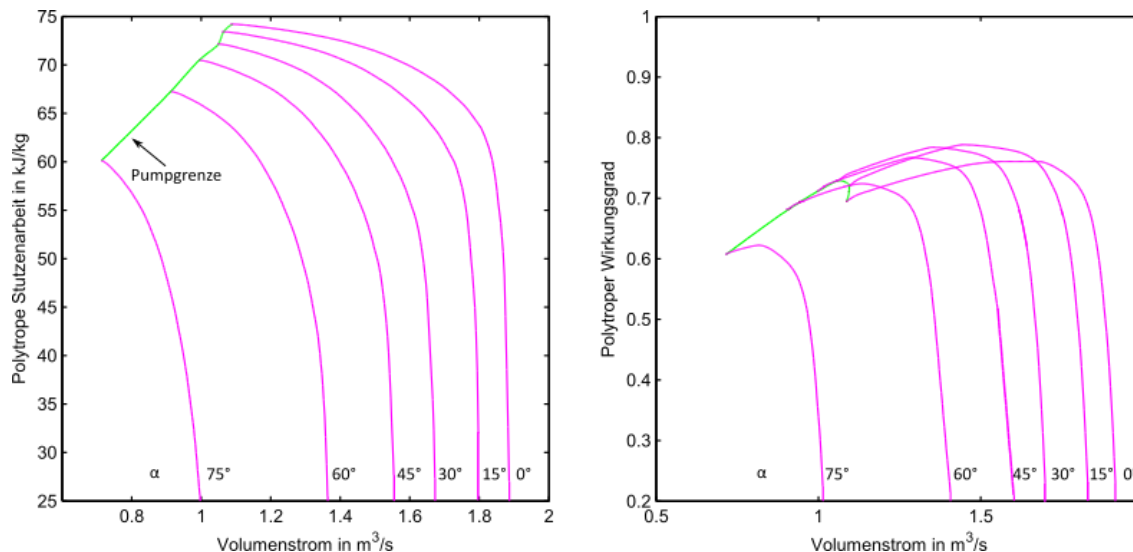
Bibliotheken
(Stoff, Maschinenbeschreibung)

Modellierung - Verbinder

```
1 connector FluidPort
2   import SI = Modelica.SIunits;
3   constant Integer nXi=0;
4   constant Integer nC=0;
5   flow SI.MassFlowRate m_flow "Mass flow rate from the connection point into :
6   SI.AbsolutePressure p(min=0) "Thermodynamic pressure in the connection point:
7   stream SI.SpecificEnthalpy h_outflow(min=0) "Specific thermodynamic enthalpy:
8   stream SI.MassFraction Xi_outflow[nXi] "Independent mixture mass fractions :
9   stream Real C_outflow[nC] "Properties c_i/m close to the connection point i:
10 end FluidPort;
```

Modellierung – Kompressor / Ventile / Turbine / Leitungen

- Genau zwei Ports
- Gleichungen: $\frac{d\dot{m}}{dt} = \Phi(\Delta p)$, $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out}$, $X_{in} = X_{out}$, $H_{out} = H_{in} + Q + W_{mech} + E_{pot}$
- Inverses von Φ nicht immer numerisch stabil zu bestimmen → Es gibt eine Vorzugsrichtung für die Berechnung der Größen: Massenstrom aus Druckdifferenz
- Beispiel Kompressor: Polytrope Zustandsänderung, Normierung mit Stoffzustand an Saugseite



Modellierung – Volumen / Behälter

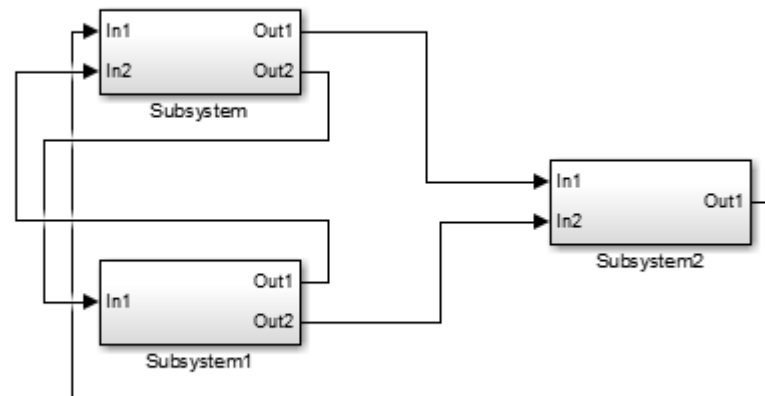
- Gleichungen: $\frac{dm_{vol}}{dt} = \sum \dot{m}$, $\frac{dH_{vol}}{dt} = \sum \dot{H} + \dot{Q} + \dot{W}_{mech}$, $h_{vol} = \frac{H_{vol}}{m_{vol}}$, $\rho_{vol} = \frac{m_{vol}}{V_{vol}}$,

$$\mathbf{x} = \sum \dot{\mathbf{X}} , \quad \mathbf{x}_{vol} = \frac{\mathbf{X}}{m_{vol}} , p_{vol} = \Phi(\rho_{vol}, h_{vol}, \mathbf{x}_{vol})$$

- Berechnung mittels Refprop
- Vorzugsrichtung für die Berechnung der Größen: Druck aus Massenstrom

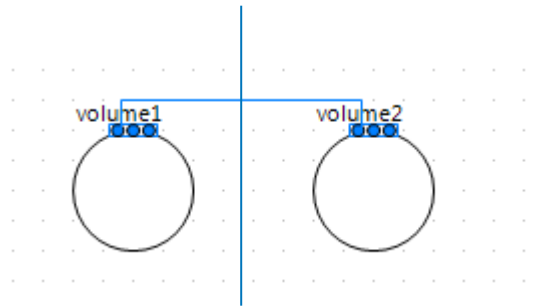
Gekoppelte Simulation - Notwendigkeit

- Numerische Stabilität kann nicht in Echtzeit erreicht werden (erforderlich $T_s < 10\text{ms}$)
- Lösungsansätze
 - Höhere Taktrate
 - Modellvereinfachung (z.B. einfachere thermodynamische Zustandsberechnungen)
 - Parallelisierung
- Gekoppelte Simulation ermöglicht Parallelisierung
 - Simulink Subsystem
 - FMU

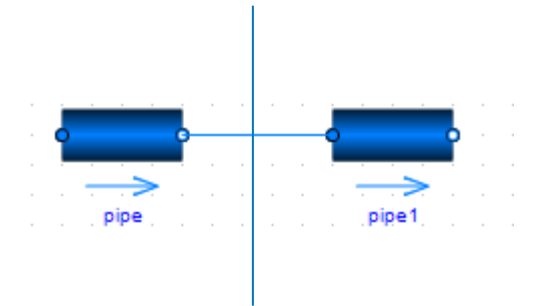


Gekoppelte Simulation - Kopplungsvarianten

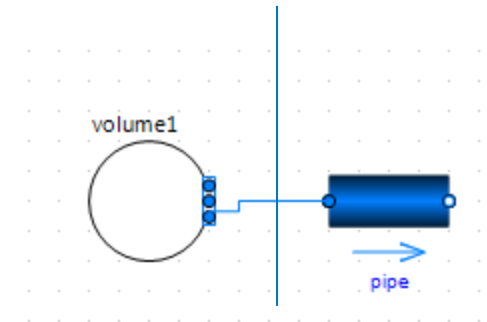
- Gesamtsystem muss zerlegt werden
- Zerlegung nach Art der Ausgänge:



Druck/Druck



Massenstrom/Massenstrom

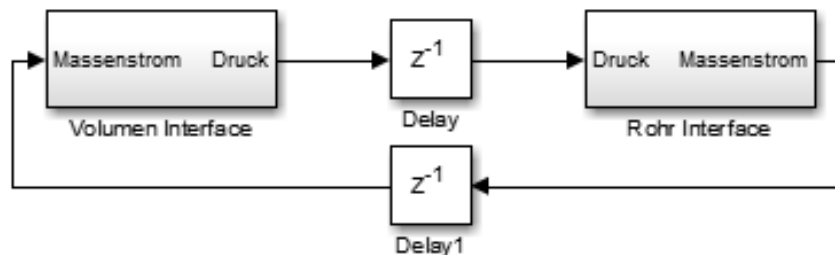


Druck/Massenstrom

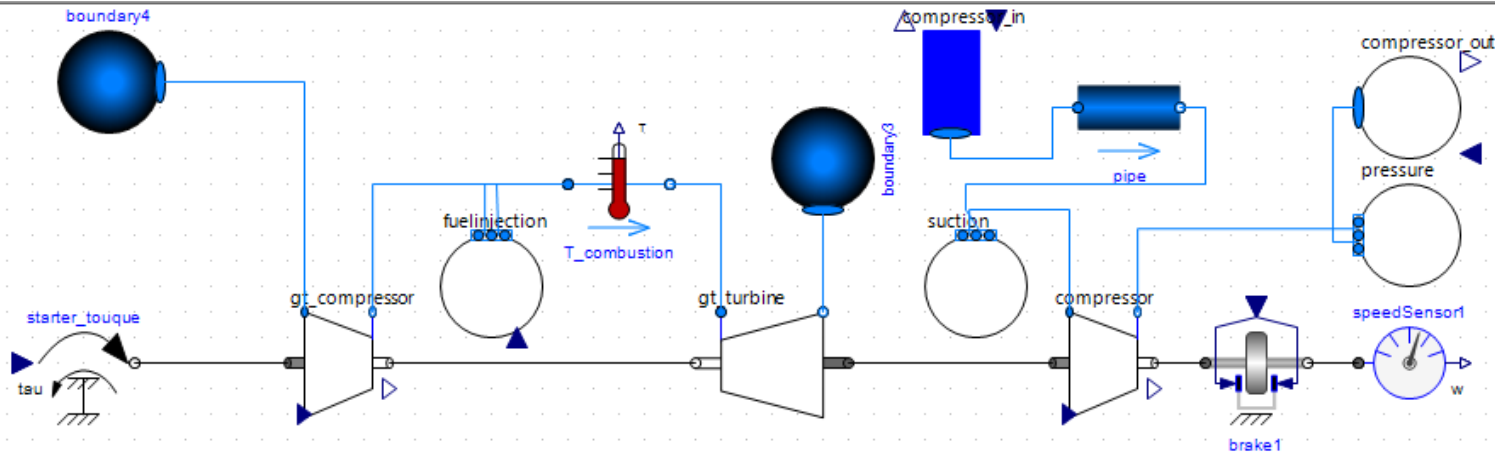
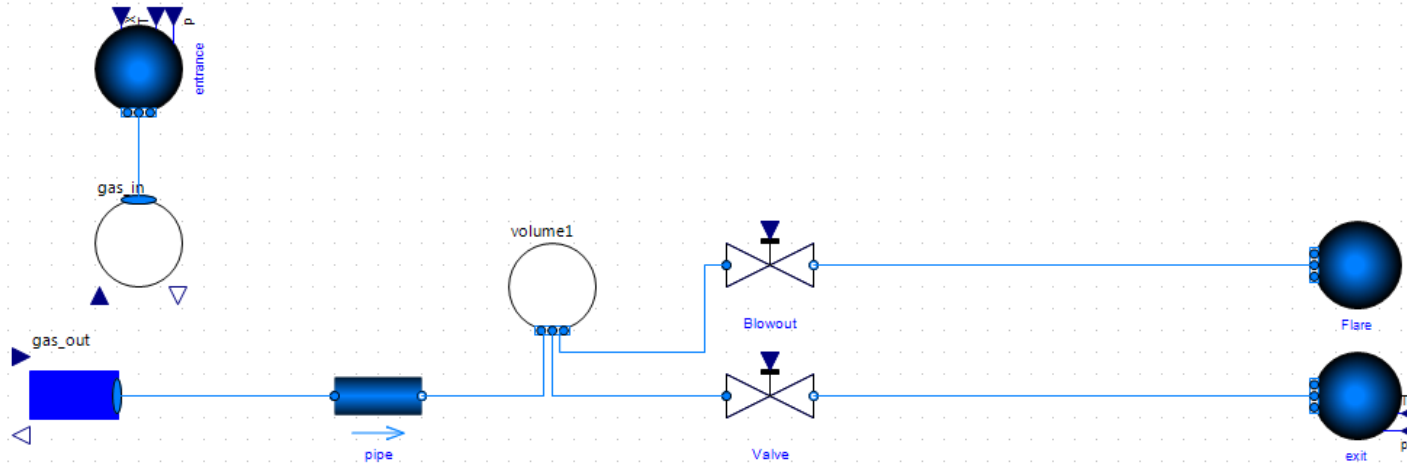
- Vorzugsrichtung der Berechnung der Kopplungsgrößen sollte beachten werden
 - Übergang Druck/Massenstrom für untersuchte Systemklasse und expliziter Berechnung der Koppelgrößen numerisch am stabilsten

Gekoppelte Simulation- Berechnung der Koppelgrößen

- In Zukunft: Viele Möglichkeiten mit FMI Master
 - Implizite Berechnung der Koppelgrößen ohne Speicher möglich (z.B. Massestrom/Massestrom)
- In Simulink kaum Einfluss auf die Berechnung der Kopplungsgrößen möglich
 - Koppelgrößen werden um einen Zeitschritt verzögert übertragen
 - Partitionierung in Druck/Massenstrom Kopplung am stabilsten
- Verzögerung lässt sich mit Transmission Line Model (TLM) auch physikalisch beschreiben
 - Druckwellen breiten sich mit Schallgeschwindigkeit aus

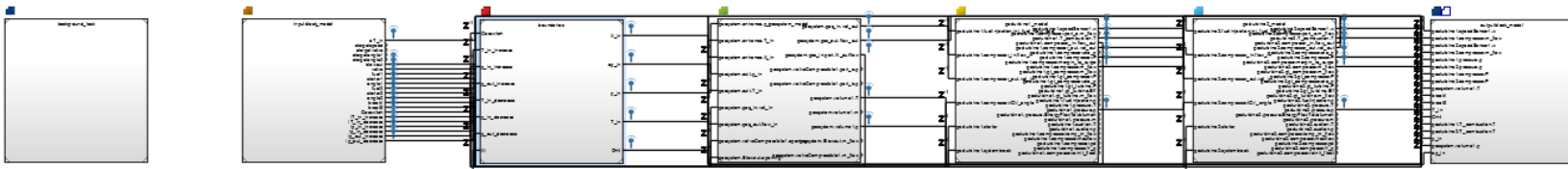


Gekoppelte Simulation - Submodelle

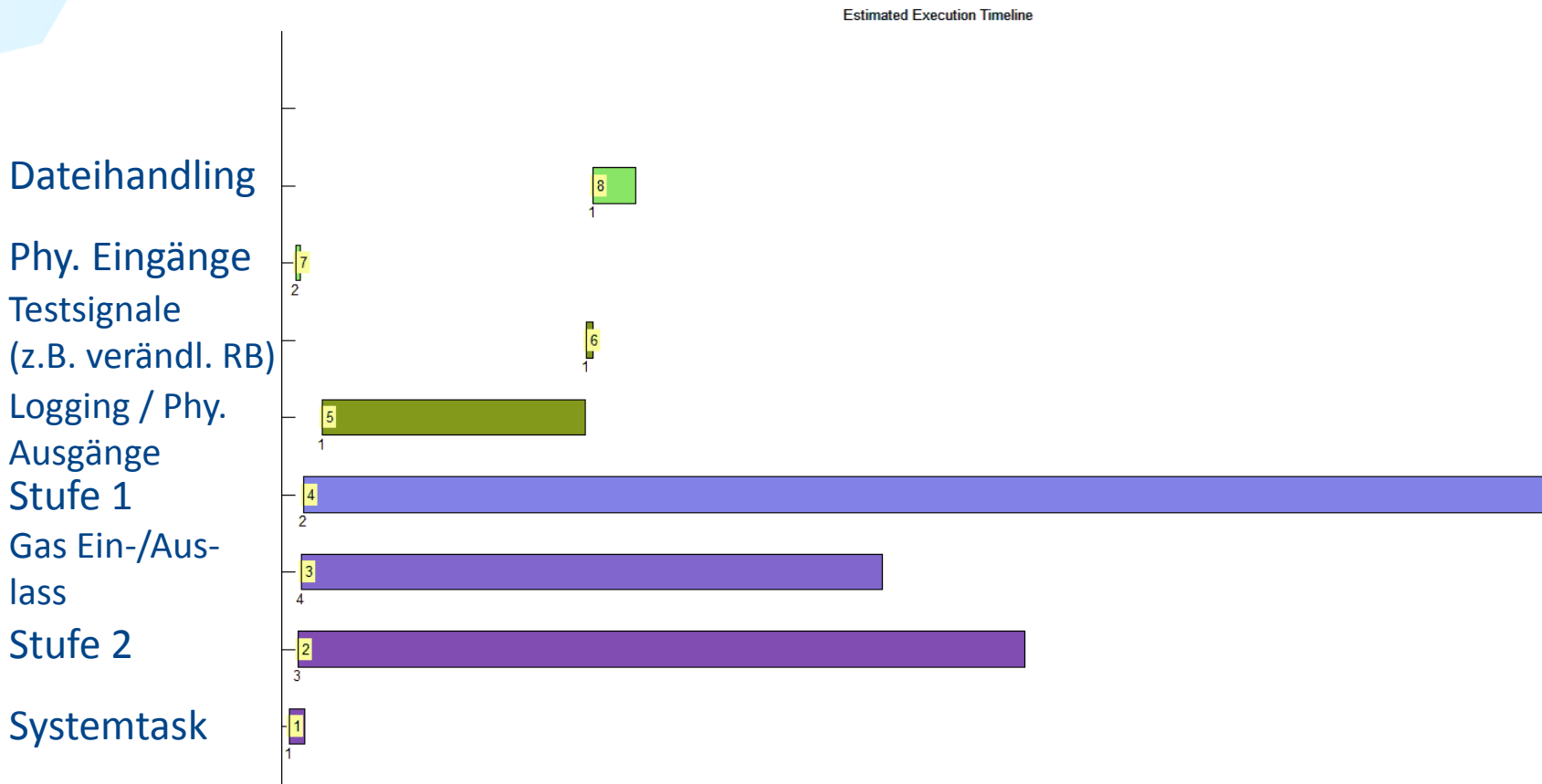


Praktische Fragen für die Ausführung auf dem Simulink Real-Time Target

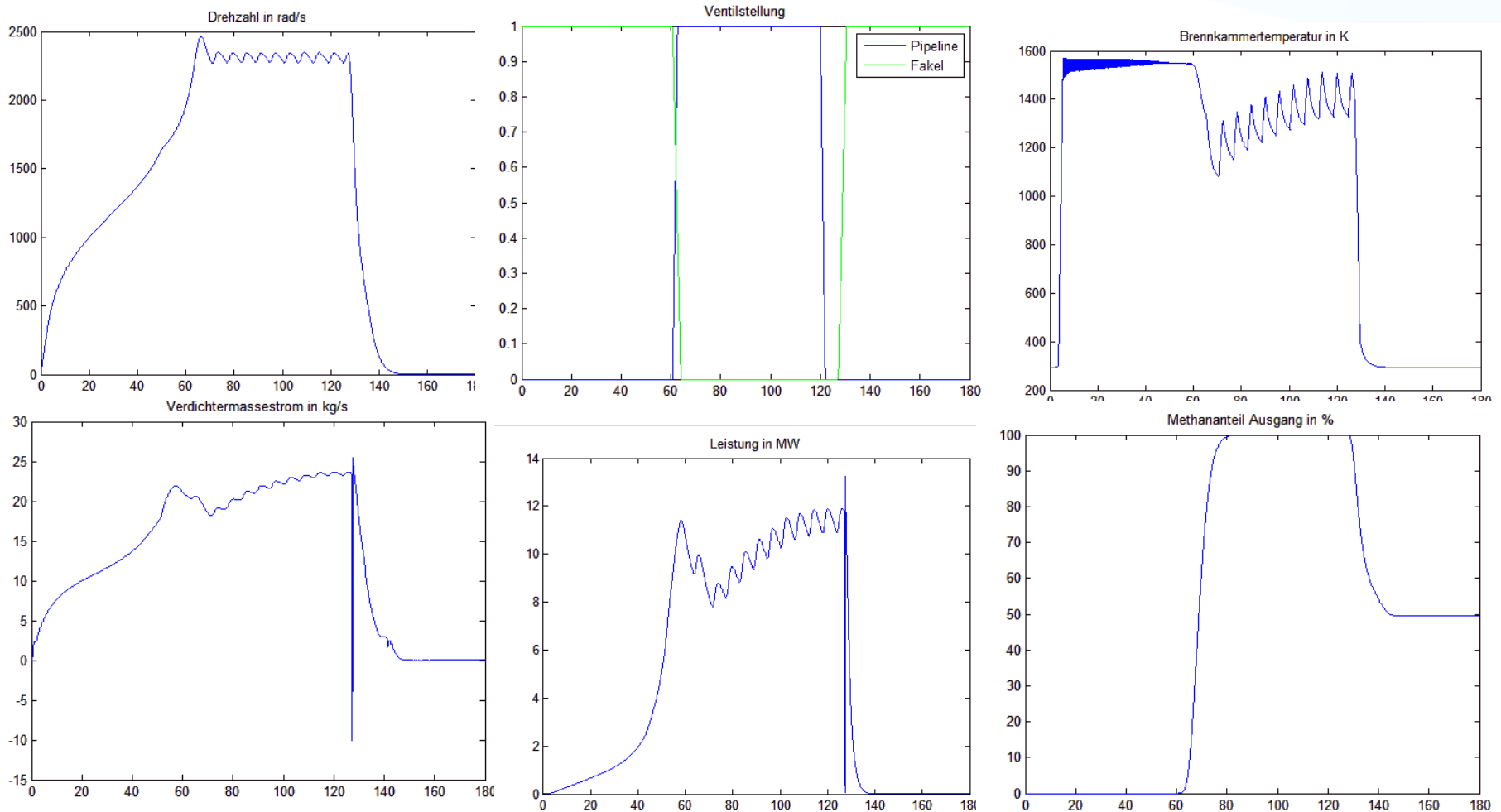
- Partitionierung manuell
- Überführen in Simulink erfolgt automatisiert auf Grundlage einer Konfigurationsdatei
 - Konfigurieren der Tasks
- Konfiguration Hardware-I/O
 - Analoge/Digitale I/O, Ethernet, Bussysteme
- In erster Konfiguration Linker- und Ressourcen-konflikte
 - Prelinking ermöglicht den Einsatz von Bibliotheken mit globalen Variablen (z.B. Refprop)
 - Initiale Dateizugriffe muss mittels Mutex geschützt werden
- Kein Exception-Handling auf dem Target
- Signale müssen sinnvoll initialisiert werden



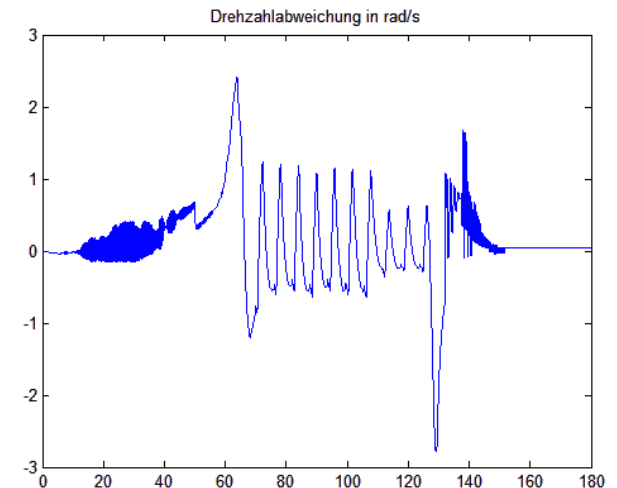
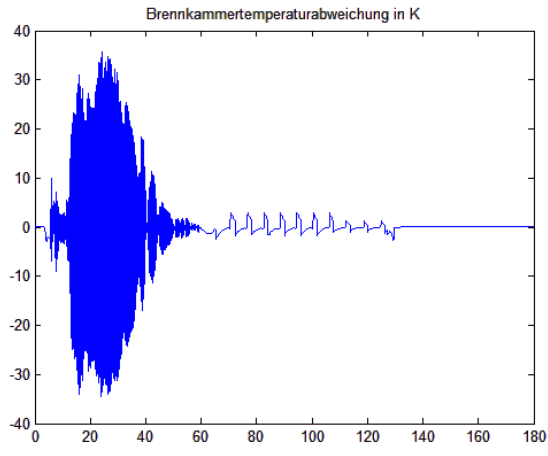
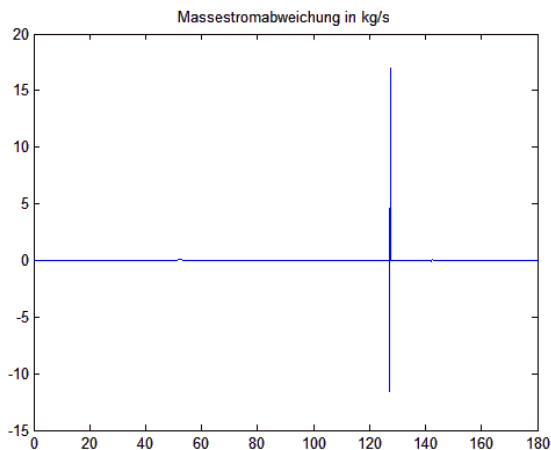
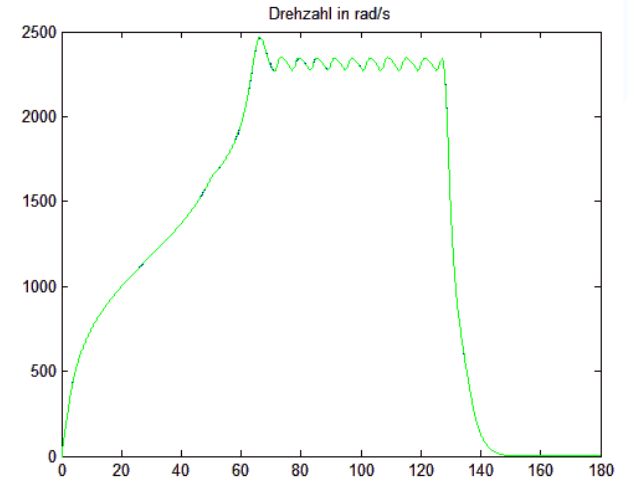
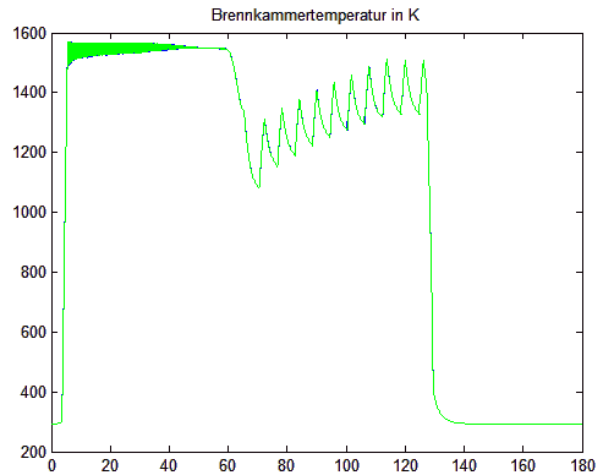
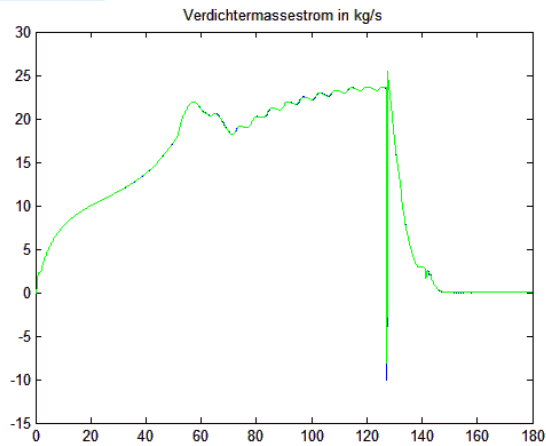
Ergebnisse - Parallele Taskbearbeitung



Ergebnisse - Kompletter Testzyklus



Ergebnisse - Vergleich partitioniert zu unpartitioniert



Zusammenfassung

- Durch Parallelisierung wird im Beispiel eine numerisch stabile Echtzeitsimulation möglich
- Dabei werden sehr genaue Stoffzustandsmodelle genutzt
- Ergebnisse werden durch für Parallelisierung notwendige Veränderungen nicht übermäßig verfälscht

Ausblick

- Automatische Modellpartitionierung
- Multi-Rate-Simulation
- Untersuchung alternativer Echtzeitsysteme
 - Möglichkeiten des Einsatz von FMU

Vielen Dank für Ihre Fragen und Anmerkungen!

Kontakt



HTWK Leipzig
Franz Schönberg
Wächterstraße 13
04107 Leipzig

Tel: 0341 30761275

E-Mail: franz.schoenberg@htwk-leipzig.de

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung